VERSUCHE

ÜBER DAS

VERHALTEN DES MUSKELS

WENN

MUSKEL UND NERV ZUGLEICH ELECTRISCH DURCHSTRÖMT WERDEN.

VON

DR. MED. EDMUND ROBERT FORSTER.

STRASSBURG I/E.
JOSEF SINGER, MEDICIN. BUCHHANDLUNG.
1901.

VERSUCHE

ÜBER DAS

VERHALTEN DES MUSKELS

WENN

MUSKEL UND NERV ZUGLEICH ELECTRISCH DURCHSTRÖMT WERDEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

DER MEDICINISCHEN FACULTÄT

DER

KAISER-WILHELMS-UNIVERSITÄT STRASSBURG

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT VON

EDMUND ROBERT FORSTER

APPROB. ARZT

AUS STRASSBURG.

STRASSBURG I/E.

JOSEF SINGER, MEDICIN. BUCHHANDLUNG.

1901.

Gedruckt mit Genehmigung der medicinischen Facultät der Universität Strassburg.

Referent: **Prof. Dr. Ewald.**

Aus dem physiologischen Institut der Universität Strassburg.

Es liegen eine ganze Reihe von Arbeiten vor, welche sich mit der Frage beschäftigen, wie sich die Tiere verhalten, wenn sie in toto von elektrischen Strömen durchflossen werden. Zuerst hat *L. Herrmann*[1]) eingehende Untersuchungen über die Wirkungsweise des electrischen Stroms auf Froschlarven angestellt. Die Tiere befanden sich in Wasser und stellten sich beim Durchtritt der Ströme durch dasselbe in der Richtung gegen den Strom ein. Diese merkwürdige Beobachtung ist seitdem wiederholt bestätigt worden [*Ewald*[2]), *Blasius* und *Schweizer*[3])] und es sind auch die Larven und andere Tiere nach Operationen und unter den verschiedensten Bedingungen Gegenstand vielfältiger Untersuchungen gewesen.

Es ist offenbar nicht leicht zu einer befriedigenden Erklärung des eigentümlichen Verhaltens der

[1]) Herrmann, L. Eine Wirkung galvanischer Ströme auf Organismen. Pflügers Archiv, Bd. 57, ebenfalls Bd. 39.

[2]) Pflügers Archiv, Bd. 55 und Bd. 59.

[3]) Pflügers Archiv, Bd. 53.

Tiere unter diesen Bedingungen zu kommen und der Hauptgrund hierfür scheint in dem Umstande zu liegen, dass wir nicht übersehen können, auf welche Teile speziell diese den ganzen Körper durchsetzenden Ströme einwirken. Werden die sensiblen Endorgane gereizt? Greift der Reiz an den Nervenfasern an, oder kommen zunächst die Centralteile dabei in Betracht. Wir wissen es nicht und können auch bei der bisherigen Versuchsanordnung schwer dieser Frage näher treten. Es seien hier auch Versuche von Herrn *Salz*[1]) erwähnt, der folgende Beobachtung machte: Wenn man einen normalen Frosch in eine flache Schale mit Wasser setzt, so kann man seinen Körper in der Weise electrischen Strömen aussetzen, dass man die eine Electrode vor dem Kopf in das Wasser taucht, die andere Electrode aber von rückwärts dem Tier nähert. Wenn man nun diese letztere Electrode nicht gerade auf dem Wege der Medianlinie des Frosches, sondern z. B. von hinten links an das Tier heranbewegt, so zuckt jedesmal allein das rechte Hinterbein, und wird bei stärkeren Strömen auch schliesslich allein gestreckt. Man sollte doch meinen, es müsse dasjenige Bein stärker gereizt werden das sich näher, und schliesslich ganz nahe an der Electrode befindet, da dies aber nicht der Fall ist, demonstriert der Versuch in sehr überzeugender Weise, dass die Durchsetzung des Körpers von electr. Strömen in eigenthümlicher und zunächst nicht voraus zu bestimmender Weise geschieht.

---

[1]) Vergleiche Ewald, Endorgane des Nerv. oct., S. 228.

Alle diese Beobachtungen, die man bei der electrischen Durchströmung ganzer Tiere angestellt hat, lassen den Wunsch entstehen, die Versuche zu analysiren und zunächst einmal die einfachsten Verhältnisse, auf die es bei der electrischen Durchströmung ankommt, zu untersuchen. Da wäre denn wohl die allererste und einfachste Aufgabe, festzustellen, wie sich das Nerv-Muskelpräparat verhält, wenn der electrische Strom Muskel und Nerv hintereinander durchfliesst. Diese Frage zu bearbeiten, wurde mir von Herrn Prof. J. Rich. *Ewald* vorgeschlagen.

Es erschien mir wünschenswert, meine Versuche zunächst an dem frei in der Luft befindlichen Nerv-Muskelpräparat anzustellen, da durch das Einbringen der tierischen Teile in Wasser die Verfolgung der Wege, welche der electrische Strom in dem Präparat selbst einschlägt, ausserordentlich erschwert wird, ja sogar unsere Kenntnisse vielfach nicht ausreichen, um den Gang der Electrizität zu bestimmen.

Die Versuchsanordnung war also zunächst eine sehr einfache: die eine Electrode befand sich am äussersten Muskelende, die andere am Nerven in der Nähe der Durchschneidungsstelle, und die Ströme flossen in der einen oder andern Richtung durch Nerv und Muskel zugleich. Es ist merkwürdig, dass diese Form der Reizung bisher von den Physiologen so wenig beachtet zu sein scheint. Im Allgemeinen ist immer nur entweder der Nerv allein gereizt worden, indem man die beiden Electroden diesem direct anlegte, oder man hat versucht, den Muskel für sich in Erregung zu versetzen und hat

dabei dann möglichst die Durchströmung des motorischen Nerven zu vermeiden gesucht. Freilich bei der unipolaren Reizung (und auch sonst in vereinzelten Fällen) wird ja Nerv und Muskel zugleich durchströmt, falls der Reiz dem Nerven applicirt wird; aber es haben dann die Ströme im Muskel eine so geringe Intensität, dass eine erregende Wirkung derselben ausgeschlossen erscheint, und es ist ja auch der Zweck der Methode, möglichst localisirte Nerven zu reizen.

Um dem Präparat die Ströme zuzuführen, verfuhr ich in folgender Weise: Ich verschaffte mir ein Nerv-Muskelpräparat vom Frosch, indem ich nach Durchschneidung der Wirbelsäule den unteren Abschnitt des Frosches möglichst sorgfältig enthäutete. Ein Assistent, dessen Hände die Haut des Frosches nicht berühren dürfen, hielt das Becken des Tieres fest, während ich selbst mit einem Hand tuch die Haut fasste und sie von den Schenkeln abzog. Nachdem ich mir dann selbst noch die Hände gereinigt, legte ich den Gastrocnemius und Ischiadicus des einen Schenkels frei und durchschnitt letzteren unmittelbar unter dem Abgang des grösseren, zu den Muskeln des Oberschenkels verlaufenden Astes. Das Präparat wurde ganz vom Knochen abgelöst und die Achillessehne durchschnitten. Darauf wurde das Präparat an einen Faden geknüpft, der horizontal zwischen zwei Glasstäben ausgespannt war. Es hing auf diese Weise der Gastrocnemius an der Achillessehne vertical herab, und am Muskel hing der Nerv nach unten. In der Stromzuleitung dienten unpolarisirbare Electroden und zwar amalgamirte Zinkstäbe,

auf denen sich in bekannter Weise erst mit schwefelsaurer Zinklösung angeklebte Tonstreifen und darauf solche, die mit physiologischer Kochsalzlösung angeknetet waren, befanden. Die eine der Electroden wurde unter den horizontal gespannten oben erwähnten Faden geschoben, sodass dieser auf den Electroden ruhte. Auf der kleinen Strecke zwischen Electrode und Achillessehne wurde der Faden mittelst physiologischer Kochsalzlösung feucht gehalten. Die andere Electrode wurde von unten her dem frei herabhängenden Nerv genähert und ebenfalls hoch gehoben, bis der Nerv auf der obersten Tonlage auflag. Der electrische Strom floss also von der oberen Electrode durch den angefeuchteten Faden zur Achillessehne, durchsetzte den Muskel, darauf den Nerv und gelangte auf diese Weise zur unteren Electrode. Wir wollen diese Anordnung, bei der also der Nerv mit der Kathode in Berührung steht, die „Nerv-Kathode-Anordnung“ nennen, eine Zuckung, falls eine hierbei eintritt, „Nerv-Kathode-Zuckung“, und bei umgekehrterRichtung des Stromes von „Muskel-Kathode-Anordnung“ und „Muskel-Kathode-Zuckung“ sprechen.

Ich will ja zunächst das Resultat angeben, welches ich ganz constant bei dieser Versuchsanordnung gefunden habe. Ich benutzte zunächst den constanten Strom, der von einem *Daniell* geliefert wurde, und schwächte ihn in der Weise, dass ich ihn durch einen einfachen Rhevetord-Draht schickte, und von diesem aus mittelst eines beweglichen Schiebers zum Präparat ableitete. Der Strom wurde geschlossen und geöffnet mit Hülfe des *Herrmann*'-

schen Fallhammers, und jedesmal soweit verstärkt, bis die ersten deutlichen Zuckungen im Präparat zu sehen waren.

Jedesmal nun wirkte der Strom stärker, wenn es sich um Nerv-Kathoden-Anordnung handelte, als bei der umgekehrten Stromrichtung, der Muskel-Kathoden-Anordnung. In diesem letzteren Falle sieht man keine Spur einer Bewegung auftreten, und man muss den Strom dann nicht unwesentlich verstärken, um eine gleiche Wirkung zu erzielen, wie bei der Nerv-Kathode-Anordnung. Dieses Resultat habe ich ausnahmslos beobachtet, vorausgesetzt, dass es sich um ganz frische Präparate handelte. Wir wollen diesen Versuch den „Fundamental-Versuch“ nennen.

Es könnte dies Überwiegen der Nerv-Kathoden-Zuckung wenig auffallend erscheinen, ja es möchte vielleicht mancher dieses Resultat als selbstverständlich bezeichnen, weil zwei Erklärungen dafür sehr nahe liegen. Erstens scheint das Resultat ohne weiteres dem polaren Erregungsgesetz zu entsprechen. Es soll ja, so lautet die Lehre, die erregende Wirkung des electrischen Stromes bei Schluss desselben von der Kathode ausgehen, bei Öffnung von der Anode. Diese letztere kommt für uns nicht in Betracht; denn da wir ja die kleinste Stromstärke, die zur Zuckung führt, aufsuchen, so haben wir nach dem Zuckungsgesetz immer nur bei Schluss des Stromes eine Wirkung, und die Anoden-Erregung bei Öffnung desselben fällt für unseren Versuch ausser Betracht. Nach dem polaren Erregungsgesetz würde also bei unserem

Versuch das eine Mal am Nerv, das andere Mal am Muskel der Reiz entstehen, und da nach der allgemein verbreiteten Ansicht der Muskel bedeutend weniger leicht erregbar ist, als der Nerv, so scheint sich das Überwiegen der Nerv-Kathoden-Zuckung fast von selbst zu verstehen. Wir werden aber durch die weiteren Versuche sehr bald zu der Erkenntnis gedrängt werden, dass diese einfache Erklärung nicht stichhaltig ist. Ebensowenig lässt sich ein anderer Umstand, an den es auch nahe liegt zu denken, für die Deutung des Phänomens heranziehen. Bekanntlich gelingt es sehr schwer, ein stromloses Gastrocnemius-Präparat herzustellen. Bei der so grossen elektromotorischen Kraft der Neigungsströme zeigt sich das spitze Ende des Muskels (Achilles-Sehnen-Ende) stets negativ gegen das dicke Ende. Und wenn wir auch, wie oben beschrieben, möglichst Vorsicht anwandten, um das Präparat nicht mit dem Hautsecret des Tieres in Berührung zu bringen, so könnte man doch annehmen, das stets in unserm Präparate ein schwacher aufsteigender Muskelstrom vorhanden war. Dieser Strom musste sich dann dem Reizstrom algebraisch summieren und denselben bei der Nerv-Kathode-Anordnung verstärken, bei der Muskel-Kathode-Anordnung abschwächen, und so würde unser Resultat durch den superponirten Muskelstrom erklärt werden.

Indessen lässt sich nicht allein leicht zeigen, dass die für die Erregung bei den verschiedenen Anordnungen notwendige Differenz der Stromstärke viel bedeutender ist, als die doppelte Stromstärke des vielleicht vorhandenen Muskelstroms, sondern

wir können auch die Wirkung des Muskelstroms durch einen sehr einfachen Versuch, auf den wir Grund haben, besonders Gewicht zu legen, vollständig eliminiren.

Zu diesem Zwecke hängen wir an denselben horizontal gespannten Faden zwei Gastrocnemien auf, die wir demselben Tier entnehmen, und ganz so behandeln, wie wir es oben angegeben haben. Sie werden mehr oder weniger dicht neben einander gehängt, jedenfalls so, dass sie sich nicht berühren können Die Fadenstrecke zwischen ihnen wird durch physiologische Kochsalzlösung feucht erhalten. Wenn wir nun die unpolarisirbaren Electroden den beiden herabhängenden Ischiadici anlegen, so können uns die Muskelströme keinen Streich mehr spielen, da sie in entgegengesetzter Richtung in den Kreis eingeschaltet sind, und selbst die Differenz ihrer Stärke — wenn wir sie als ungleich annehmen wollen — würde leicht als Ursache für unsere Erscheinung erkannt werden müssen, da dann nur in dem Falle das eine oder beide Präparate zucken müssten, wenn die Stromrichtung des Reizstromes mit dem restirenden Muskelstrom gleichgerichtet ist, wenn sich also die Kathode an dem Nerven desjenigen Muskels befindet, der den stärkeren Muskelstrom besitzt. Es zeigt sich aber bei diesem Versuche nichts von einem derartigen Unterschied beim Wechsel der Stromrichtung, sondern

> es zuckt jedesmal der Muskel, an dessen Nerv sich die Kathode befindet.

Der Versuch gelingt so regelmässig und ist überdies so einfach anzustellen, besonders wenn

wir Inductionsschläge (siehe unten) verwenden, dass es sich in ausgezeichneter Weise als Vorlesungsversuch eignet. Es ist bekanntlich nicht ganz leicht, die Kathodenerregung bei Schluss des Stroms zu demonstrieren. Bei den bisher in dieser Beziehung angestellten Versuchen erscheint uns die von *v. Bezold*[1]) angegebene Methode noch am beweisendsten zu sein. Bei ihr liegen die Electroden an zwei möglichst entfernten Puncten des Nerven auf, und das frühere Auftreten der Muskelcurve in dem Fall, dass die Kathode näher am Muskel liegt, beweisst, dass die Erregung von diesen ausgeht. Der Versuch ist sehr delicat und zur Demonstration nicht geeignet. Dagegen springt bei unserem Versuch der Einfluss der Kathode direct in die Augen. Beim Constantbleiben des Reizstroms verändern wir nur die Richtung desselben, und sehen stets nur den einen Muskel kräftig zucken, während der andere absolut unbeweglich bleibt.

Wir haben oben von der möglichen Deutung gesprochen, dass die Muskel-Kathoden-Zuckung aus dem Grunde schwerer eintritt, weil der Muskel schwerer erregbar ist, aber diese Deutung ist aus dem Grunde nicht sicher, weil wir gar nicht wissen, ob das Präparat an der Stelle, wo der Strom in dasselbe eintritt, gereizt wird, ob also wirklich der Reiz zunächst am Muskel angreift. Der Muskel kann doch auch, ohne selbst erregt zu werden, die schwachen Ströme fortleiten und so zu einer sogenann-

[1]) v. Bezold, Untersuchungen über die electrische Erregung der Nerven und Muskeln. Leipzig 1861.

ten secundären Electrode werden. Er überträgt dann die electrischen Ströme auf die letzten Nervenausbreitungen und die Nerven werden wieder da erregt, wo sie von einer Kathode berührt werden. Wir können demnach bei der Annahme der ausschliesslichen Erregung von der Kathode aus verbleiben, müssen aber dann für den Fall, dass der Muskel als secundäre Electrode functionieren sollte, die merkwürdige Thatsache constatieren, dass die Nervensubstanz der motorischen Nerven in der einen Richtung, nämlich der centripetalen, schwerer erregbar ist, als in der Richtung, in der sie normaler Weise in Thätigkeit versetzt wird. Diese Annahme einer secundären Muskelelectrode stimmt mit der allgemein angenommenen geringen Erregbarkeit der Muskelsubstanz überein. Denn wenn wir auch einen sehr deutlichen Unterschied der beiden Stromstärken beobachten, die nötig sind, um das Präparat in der einen und andern Richtung zu erregen, so ist doch dieser Unterschied nur geringfügig gegenüber der grossen Verschiedenheit, die man bisher immer in Bezug auf die Erregbarkeit von Muskel und Nerv geglaubt hat annehmen zu müssen.

Kommen wir aber auf die andern Annahmen zurück, dass der Reiz bei der Muskelkathodezuckung wirklich den Muskel errege, so wäre als Besonderes festzustellen, dass sich bei dem normalen Muskel die Muskulatur fast ebenso erregbar erweist als der Nerv.

Bei der weiteren Verfolgung der angegebenen Erscheinungen bin ich zunächst auf folgende überraschende Thatsache gestossen. Lässt man das

Präparat allmählich absterben, so wird der Unterschied zwischen der Nerv Kathode-Zuckung und der Muskel-Kathode-Zuckung immer geringer, ja es tritt schliesslich die Umkehr der Erscheinung ein. Das Präparat zuckt leichter bei Muskel-Kathode-Anordnung als bei der Nerv-Kathode-Anordnung. Hierbei war es von vornherein ausgeschlossen, dass der Muskelstrom eine Rolle spielen könne, denn er ist auch zu dieser Zeit im Muskel aufsteigend, würde also die Muskel-Kathode-Zuckung abschwächen. Besonders schnell erhielt ich die Umkehr, als ich Muskel und Nerv dadurch etwas erwärmte, dass ich eine kleine Weingeistflamme in einiger Entfernung unter dem Muskel hin und her schwenkte. Ich muss aber die Frage offen lassen, ob durch diese Vornahme ein schnelleres Absterben herbeigeführt wurde, oder ob es sich nicht vielleicht um eine geringe Eintrocknung der Oberfläche von Muskel und Nerv handelte. Man weiss, dass eintrocknende Muskeln den Reiz leicht von einer Faser zur andern und von einem Muskel zum andern übertreten lassen, offenbar weil das elektrische Leitungsvermögen ein anderes, besseres wird, und da wir selbst zur Erklärung unserer Beobachtung späterhin gezwungen sein werden, die Leitungsverhältnisse des Muskels und seiner Umgebung zur Erklärung heranzuziehen, so erscheint es uns möglich, dass auch diese bei der Umkehr des Fundamentalversuches eine Rolle spielen.

Da die Erregbarkeit des Präparates, auch nachdem die besprochene Umkehr bereits eingetreten ist, sich nicht wesentlich von der normalen unterscheidet, so entstand nun die Frage, welche Ver-

änderung denn in Nerv und Muskel vorgegangen sein könnte, die dazu führt, dass die Zuckung leichter eintritt, wenn sich die Anode am Nerv befindet. Bevor ich aber in der Schilderung meiner Befunde fortfahre, möchte ich zunächst noch meine Bemühungen schildern, die Methode noch weiter zu vereinfachen. Die Herstellung von unpolarisirbaren Electroden ist immer zeitraubend und unbequem, ich versuchte daher dieselbe zu beseitigen. Es zeigte sich aber, dass die Versuche mit einfachen Metallelectroden unsicher wurden; es ist ja auch leicht erklärlich, dass die Polarisation bei der Geringfügigkeit der in Betracht kommenden Stromstärken den regelmässigen Ausfall der Versuche stören kann. Ich kam also zum dem Resultat, dass man die unpolarisirbaren Electroden nicht entbehren kann, falls man mit constantem Strom reizen will. Da blieben dann die Inductionsströme übrig und in der That kann man mit diesen den Fundamentalversuch ebensogut anstellen, wie mit dem constanten Strom und kann dann gewöhnliche Nadelelectroden verwenden. Der einen legt man den feuchten Faden an, auf die andere lagert man den Nerven. Da ich stets mit minimalen Reizen begann, und dieselben dann bis zum Eintreten der Zuckungen steigerte, so kamen stets nur die Öffnungschläge in Betracht, die Schliessungsschläge wirkten niemals. Zur Öffnung des primären Stromkreises diente auch hier der *Herrmann*'sche Fallhammer, der bekanntlich die Einrichtung besitzt, dass man eine Schliessung oder Öffnung durch den Fall bewirken kann. Ich liess also in diesem Falle durch den Hammer den primären

Kreis öffnen, geschlossen wurde er dann immer wieder beim Heben des Hammers, aber wie schon erwähnt trat dabei niemals eine Wirkung auf das Präparat ein. Um die Richtung der Öffnungströme zu bestimmen, verfuhr ich in der bekannten Weise derart, dass ich die beiden Electroden in einen Tropfen einer Jodkalium-Kleisterlösung eintauchte, den primären Strom unterbrach und dann die eine Electrode wieder aus dem Tropfen entfernte. Nachdem ich dann den primären Kreis wieder geschlossen, wurde die Electrode wieder in den Tropfen gebracht, und es kamen auf die Weise nur die Öffnungsschläge zu electrolytischer Wirkung. Man kann also den Fundamentalversuch oder den oben beschriebenen Demonstrationsversuch (zwei Präparate an demselben Faden) am allereinfachsten mit gewöhnlichen Nadelelectroden und Öffnungsinduktionsschlägen ausführen. Bei den fernerhin zu beschreibenden Versuchen habe ich mich immer dieser einfachen Methode bedient. Die Veränderung, welche im Präparat abgelaufen sein musste, um die Umkehr zu bewirken, konnte jedenfalls nur geringfügiger Art sein, da schon allein eine längere Dauer des Versuchs sie herbeiführte und die Erregkarbeit des Präparates keine wesentliche Einbusse erlitt. Es lag daher der Gedanke nahe, den Muskel mit Curare zu vergiften, da wir ja wissen, dass dies in nicht zu starker Dosis weder die Erregbarkeit des Muskels, noch die der Nervenfasern angreift, allein also auf innere Teile wirkt, welche jedenfalls viel leichter als Muskel und Nerv vergiftet werden. Welche anatomischen Gebilde dies speciell sind, möge hier un-

erörtert bleiben, wir wollen sie, um uns kurz auszudrücken Nervenfaserendigungen nennen, im Gegensatz zu der eigentlichen Nervenendigung, welche noch hinter der Nervenfaserendigung gelegen sein kann. Die Faserendigung wäre also eine intermediäre Substanz, welche sich zwischen den Muskelfasern und der Nervenendigung befindet und die bei Curarevergiftung die Nervenwelle nicht zum Muskel gelangen lässt. Ich möchte übrigens hervorheben, dass es zu der Erklärung meiner Befunde durchaus nicht nötig wäre, Faser- und Nervenende als zwei verschiedene Substanzen zu trennen, ich schliesse mich hierbei nur den landläufigen Anschauungen an.

Vergiftet man den Frosch mit Curare, indem man ihm nicht mehr giebt als eben zur Lähmung nötig ist, und untersucht man dann das obige Nerv-Muskel-Präparat, so zeigt sich von vornherein die Umkehr des Fundamentalversuches, das heisst, es überwiegt die Muskel-Kathode-Zuckung und diese Erscheinung bleibt bis zum völligen Erlöschen der Erregbarkeit bestehen. Sehr auffallend ist dabei, dass die nun nötigen Stromstärken ungleich grösser sein müssen, wie bei dem unvergifteten Präparate. Es mögen hier einige Zahlenbeispiele angeführt sein. Bei einem normalen Präparat trat die Nerv-Kathode-Zuckung ein bei einem Abstand der secundären Spirale von 431 mm. Im primären Kreis befand sich ein Daniell. Zur Hervorbringung der Muskel-Kathode-Zuckung musste die secundäre Spirale bis auf 400 mm. genähert werden. Der Unterschied der Stromstärke betrug also beim Fundamentalversuch

mehr als 30 mm. Rollenverschiebung. Ähnlich waren die Verhältnisse bei den anderen Präparaten, und da der eingeschaltete Widerstand, der durch die Länge der Nerven und die Länge der feuchten Fadenstrecken zwischen Electrode und Achillessehnen bedingt wird, bei jedem Versuch ein anderer war, so hat es keinen Sinn, die Zahlen für die analogen Versuche anzugeben. Untersucht man aber ein mit Curare vergiftetes Präparat, so musste die secundäre Spirale fast stets bis zur Berührung der primären genähert werden das heisst bis etwa 150 mm. Bei dieser Stellung der secundären Spirale bewirkt die Verschiebung derselben bekanntlich sehr grosse Unterschiede in der Stromstärke und dementsprechend waren auch stets die Verschiebungen für die Nerv-Kathode-Zuckung oder Muskel-Kathode-Zuckung geringer, immerhin haben wir auch hier Differenzen von 10 und mehr Millimeter gesehen.

Man wird nicht umhin können, die Contraction des curarisirten Muskels als eine durch Reizung des Muskels selbst veranlasste Zuckung (idiomusculäre Zuckung) anzusehen, und wir kommen auf die Weise zunächst zur Feststellung der Thatsache, dass unser Präparat idiomuskulär leichter zuckt, wenn sich die Kathode an der Achillessehne befindet. Eine Erklärung hierfür zu geben dürfte nicht leicht sein, doch möchte ich annehmen, dass die Dichte des elektrischen Stroms bei seinem Eintritt in den Muskel am Sehnenende eine bedeutendere ist, als auf dem dicken Ende des Muskels. Denn ich nehme als sicher an, dass der Strom infolge seiner für das curarisirte Präparat nötigen Stärke nicht die Nerven-

fasern als ausschliessliche Bahn benutzt, sondern dass er vielmehr sofort beim Eintritt des Ischiadicusstammes in den Muskel den Nerven teilweise verlässt und sich in der ganzen Dicke des Muskels ausbreitet. Der ganze Nerv, sowohl der Stamm wie auch die Faserendigung, wird zur secundären Electrode, die infolgedessen eine sehr grosse Berührungsfläche darstellt. Es würde also die Stromdichte in der Muskelsubstanz zur Achillessehne hin zunehmen und an diesem Ende ein Maximum erreichen. Bleiben wir nun bei der Annahme stehen, dass die Kathode den Muskel reizt, so ist es klar, dass die Contraction leichter eintreten muss, wenn die Kathode sich an der Stelle der grösseren Stromdichte befindet.

So hätten wir also zunächst eine Erklärung für das Verhalten des curarisirten Präparates gegeben; indes fragt sich, ob wir nicht von diesem aus auch ein Verständniss für die Umkehr des Fundamentalversuchs bei dem nicht vergifteten Präparat gewinnen können. Ich glaube wohl. Wir brauchen blos anzunehmen, dass infolge der Schädigung, welche naturgemäss nach Herausnahme des Präparates aus dem Froschkörper eintritt, die Faserenden zuerst functionell gestört werden. So würde auch bei dem unvergifteten Präparat die neuromusculäre Zuckung in die idiomusculäre übergehen, wovon man bei der gewöhnlichen Art zu reizen nichts zu bemerken brauchte. Die das Präparat durchsetzenden electrischen Ströme würden dann nicht ausschliesslich wie bei dem Fundamentalversuch, bei der natürlichen Erregung oder auch bei der künstlichen Erregung

allein vom Nerven aus die Faserendigungen erregen, sondern gewissermassen seitlich auch in die Musculatur einbrechen und wohl auch durch die Faserenden hindurch auf die jenseitigen Gebilde einwirken. Die Faserendigung ist jedenfalls ein besonders complicirtes, besonders empfindliches Organ. Es kann daher kein Wunder nehmen, wenn dieselbe leichter und daher auch schneller geschädigt wird, als der Muskel. So erscheint die Annahme wohl gerechtfertigt, dass, sobald nach der Herausnahme aus dem Körper das Präparat zu leiden beginnt, sich die Schädigung zunächst auf die Faserendigung bezieht, und es würde vielleicht in dieser besonderen Empfindlichkeit der Faserendigung ein Fingerzeig zu sehen sei, weshalb das Curare gerade zuerst an diesem Teil seine Wirkung entfaltet.

Man kann die Umkehr des Fundamentalversuches auch in folgender Weise bewerkstelligen. Fertigt man von einem normalen Frosch das beschriebene Nerv-Muskel-Präparat an, und hat man sich davon überzeugt, dass der Fundamentalversuch regelmässig gelingt, so genügt es, den Nervus Peronaeus dicht vor seinem Eintritt in den Muskel zu durchschneiden, und ihn auf den gemeinsamen Stamm des Ischiadicus nach unten umzulegen, um sofort die Umkehr zu bewirken. Die Muskel-Kathode-Zuckung überwiegt nun; wenn man aber den Peronaeus wieder nach oben umschlägt und ihn an dem Tibialis liegen lässt, an dem er infolge der vorhandenen Feuchtigkeit haftet, so schlägt die Erscheinung wieder um, und der Fundamentalversuch gelingt wieder in ursprünglicher Form.

Durch Umlegen des Peronaeus auf den Ischiadicusstamm und durch Zurücklegen wieder an den Tibialis kann man auf die Weise jedesmal den Fundamentalversuch umkehren und wieder herstellen.

Bekanntlich teilt sich der Ischiadicus in einiger Entfernung vom Gastrocnemius in die beiden Aeste Tibialis und Peronaeus. Der Peronaeus läuft am Muskel entlang und sendet nur einen Zweig in denselben hinein. Ich nehme an, dass die Erklärung unseres Versuches in dem Umstand zu suchen ist, dass der Strom nach Zurückschlagung des Peronaeus gezwungen ist, allein durch den Tibialis zu fliessen und ihm jetzt in dem Peronaeus und der von dieser berührten Oberfläche des Muskels ein, mit der, an der Achillessehne befindlichen Electrode verbundenes Gebiet gegenüber steht. Während bisher die Ströme in Tibialis und Peronaeus etwa das gleiche Potential hatten, und daher ein Übergang der Ströme vom Tibialis auf das Peronaeusgebiet nicht möglich war, so findet jetzt das Gegentheil statt, und es kann daher zur idiomusculären Zuckung kommen.

Es lag natürlich der Wunsch vor zu versuchen, ob auch an andern Muskeln der Fundamentalversuch gelingt. Es ist aber bekanntlich nicht leicht, andere völlig unverletzte Nerv-Muskel-Präparate herzustellen, als das von uns benutzte. Es gelang mir indessen bei folgendem Präparate. Ich präparirte vom Oberschenkel des Frosches den Musc. cruralis mit dem ihn versorgenden Nerv frei und fügte auf dieselbe Weise wie sonst den Gastrocnemius in den Stromkreis ein. Das Resultat war dasselbe wie beim Gastrocnemius; auch hier liess sich der fundamentale

Versuch bestätigen. Den Versuch auch am Musc. Sartorius und Musc. Gracilis auszuführen, war nicht gut möglich, weil die Schwierigkeit der Präparation zuviel Zeit erforderte, und wir ja wissen, wie leicht die Präparate geschädigt werden, allein durch die längere Trennung vom Körper.

Endlich habe ich untersucht, wie sich der ganze stromprüfende Froschschenkel bei der Ganz-Durchströmung verhält. Ich hing den Schenkel ebenfalls an einen horizontalen Faden auf, indem ich die drei längsten Zehen desselben an den Faden anschlang und im Übrigen die oben geschilderte Versuchsanordnung beibehielt. Die Schenkel sind offenbar noch empfindlicher für den Versuch als das Nerv-Muskel-Präparat, sodass ich anfänglich glaubte, dass der normale Schenkel die Umkehr zeige. Es hat sich aber doch herausgestellt, dass bei möglichst schneller und schonender Präparation des Schenkels auch dieses den Fundamentalversuch in derselben Weise wie das Nerv-Muskelpräparat zeigt. Beim Schenkel liegen offenbar die Bedingungen für die Umkehr sehr günstig. Die Muskeln liegen aneinander, zwischen ihnen läuft ausserdem der Knochen, für die Ausbreitung der electrischen Ströme möglichst günstige Bedingungen, und da ja, wie wir oben gesehen haben, die idiomusculäre Zuckung eintritt, sobald die Ströme auf die Musculatur auch ohne Vermittlung der Faserendigungen einwirken können, so erscheint die Leichtigkeit, mit der die Umkehr erfolgt, verständlich. In dieser Erklärung wurde ich ausserordentlich verstärkt durch folgenden Versuch: Bei einigen Schenkeln, die relativ sehr frisch waren, aber

dennoch bereits die Umkehr zeigten, löste ich die Gastrocnemii ab, und es ergab sich, dass diese dann den Fundamentalversuch richtig zeigten, während der restirende Schenkel in seinem Umkehrzustande verblieb. Jedenfalls ist es also nicht gut, den Versuch zu demonstriren mittelst ganzer Schenkel, die Verhältnisse liegen hier noch viel complicirter als es schon beim einfachen Nerv-Muskel-Präparat der Fall ist.

Schliesslich hat es noch ein besonderes Interesse das Verhalten des curarisirten ganzen Schenkels zu untersuchen. Ich war nicht wenig erstaunt zu finden, dass bei ihm der Fundamentalversuch in regulärer Form gelingt. Er zuckte leichter bei Nerv-Kathode-Anordnung. Ich konnte dies Verhalten in keiner Weise erwarten, weil sowohl das curarisirte Nerv-Muskelpräparat die Umkehr zeigt, als auch der ganze Schenkel an und für sich schon zu sehr dazu neigt, in den Umkehrzustand zu verfallen. Aber auch in diesem Falle glaube ich, dass uns unsere Erklärungsweise nicht im Stiche lässt. Man darf aber nicht vergessen, dass für den curarisirten Schenkel Ströme nötig sind, deren Stärke gegenüber der sonstigen Stärke für den normalen stromprüfenden Schenkel als ungeheuer zu bezeichnet werden muss. Der in den Schenkel vom Nerv aus eintretende Strom wird sich aber sofort in alle Muskeln verbreiten, während er beim umgekehrten Wege zunächst Knochen und kleinen unbedeutenden Muskeln, die auf die Zuckung keinen Einfluss haben, begegnet. Die Stromdichte innerhalb der Muskulatur ist ohne Frage in den in Betracht kommenden Muskeln am

unteren Ende des Schenkels, also am Nervenende, grösser als auf der entgegengesetzten Seite. Auch hier hat sich unsere Erklärung durch den Versuch in der Weise bestätigen lassen, dass wir den Gastrocnemius nachträglich von dem curarisirten Schenkel lösten und jedesmal fanden, dass er umgekehrt reagierte wie der ganze Schenkel, d. h. nachdem der curarisierte ganze Schenkel Überwiegen der Nerv-Kathode-Zuckung gezeigt hatte, erhielten wir bei dem von demselben isolirten Gastrocnemiuspräparat immer wie beim curarisirten Nerv-Muskel-Präparat auch sonst Umkehr des Fundamentalversuches, also Überwiegung der Muskel-Kathode-Zuckung.

Aus allen meinen Versuchen scheint mir jedenfalls mit Sicherheit hervorzugehen, dass die normalen Muskeln viel leichter erregbar sind, als man bisher anzunehmen geneigt war. Der Unterschied in der Stromstärke, welche für die neuromuskuläre und idiomuskuläre Zuckung erforderlich ist, ist offenbar eine äusserst geringe, und der curarisierte Muskel ist deswegen so sehr viel schwerer zu erregen, weil das Gift die Erregbarkeit des Muskels bereits herabsetzt, wenn die Contractions-Fähigkeit noch sehr gut erhalten ist. Dasselbe Verhalten, so dürfen wir schliessen, wird auch der Muskel intra vitam zeigen, und es ist deswegen bei allen Erklärungsversuchen, die sich auf die Wirkung ganz durchströmter Tiere beziehen, auf diese Verhältnisse Rücksicht zu nehmen. Ob auch der normale Nervenreiz unter Umständen, etwa in pathologischen Fällen, eine idiomuskuläre Zuckung hervorrufen könne, muss vorläufig, ehe unsere Kenntnisse auf dem von uns betretenen Gebiet nicht grösser

geworden sind, völlig unentschieden bleiben. Aber auch nur die Möglichkeit einer solchen Annahme lässt schon die Fortführung meiner Untersuchungen wünschenswert erscheinen. Freilich wird es noch sehr vieler Versuche bedürfen, um die Verhältnisse weiter zu klären. Ich hoffe indessen mit den vorstehenden Untersuchungen einen ersten bescheidenen Beitrag gegeben zu haben.